

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **10-325913**

(43)Date of publication of application : **08.12.1998**

(51)Int.CI.

G02B 6/16

G02B 6/22

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 10-096695

(71)Applicant : **FURUKAWA ELECTRIC CO
LTD:THE**

(22)Date of filing : **25.03.1998**

(72)Inventor : **MUKASA KAZUNORI**
SUZUKI YOSHIHISA

(30)Priority

Priority number : **09 90168** Priority date : **25.03.1997** Priority country : **JP**

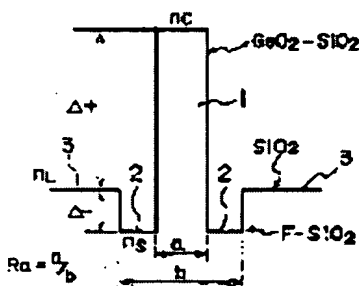
(54) DISPERSION COMPENSATIVE OPTICAL FIBER AND WAVELENGTH MULTIPLE LIGHT TRANSMISSION LINE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion compensative optical fiber connected to a single mode optical fiber having zero dispersion at a wavelength 1.31 μm and having both functions as the dispersion compensative function of the single mode optical fiber and as an optical transmission line.

SOLUTION: The dispersion value of the dispersion compensative optical fiber at the wavelength 1.55 μm is made within the range of -35 ps/nm/km to -10 ps/nm/km, and a refractive index distribution is made a W type profile. Preferably, the dispersion value at the wavelength 1.55 μm is made ≥ -20 ps/nm/km and ≤ -10 ps/nm/km, and a ratio between the dispersion value and a dispersion slope at the wavelength 1.55 μm is set so as to become opposite in a positive/negative code to and equal in an absolute value to the ratio between the dispersion value and the dispersion slope at the same wavelength 1.55 μm band. A specific refractive index difference Δ of a central core 1 for a clad 3 is made $\geq 1.0\%$ and $\leq 1.8\%$.

and the ratio $R\Delta$ of the specific refractive index difference Δ - of a dido core 2 for the clad 3 for



the specific refractive index difference Δn is made ≤ -0.25 , and the ratio Ra ($Ra=a/b$) of the size (a) of the central core 1 for the size (b) of a side core is made within the range of ≥ 0.3 and ≤ 0.4 . A mode field size is made $\geq 5.5 \mu m$.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 17.06.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-13773

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 17.07.2003

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 3 2 5 9 1 3

(43) 公開日 平成10年(1998)12月8日

(51) Int. Cl.⁶ 識別記号
 G 0 2 B 6/16
 6/22
 H 0 4 B 10/02
 10/18

F I
 G 0 2 B 6/16
 6/22
 H 0 4 B 9/00 M

審査請求 未請求 請求項の数 6

F D

(全 1 1 頁)

(21) 出願番号 特願平10-96695

(22) 出願日 平成10年(1998)3月25日

(31) 優先権主張番号 特願平9-90168

(32) 優先日 平9(1997)3月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 武笠 和則

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河

電気工業株式会社内

(72) 発明者 鈴木 好久

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河

電気工業株式会社内

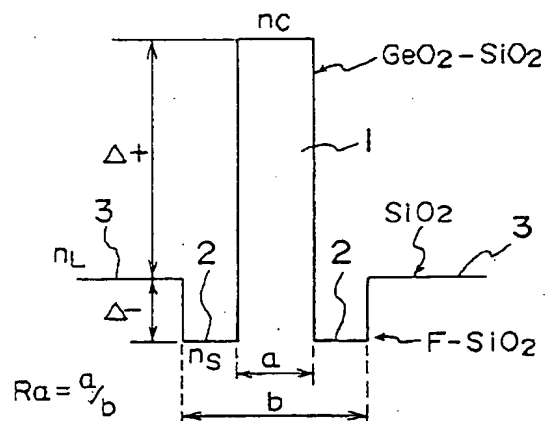
(74) 代理人 弁理士 五十嵐 清

(54) 【発明の名称】 分散補償光ファイバおよびその光ファイバを用いた波長多重光伝送路

(57) 【要約】

【課題】 波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続してシングルモード光ファイバの分散補償機能と光伝送路としての機能を併せ持つ分散補償光ファイバを提供する。

【解決手段】 分散補償光ファイバの屈折率分布をW型プロファイルとする。波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値を $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $-10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下とし、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散値と分散スロープの比をシングルモード光ファイバの同じ波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散値と分散スロープの比と正負の符号が逆で絶対値はほぼ等しく設定する。センタコア1のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta+$ を 1.0% 以上 1.8% 以下とし、比屈折率差 $\Delta+$ に対するガイドコア2のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta-$ の比 $R\Delta$ を -0.25 以下とし、サイドコアの径 b に対するセンタコア1の径 a の比 Ra ($Ra = a/b$) を 0.3 以上 0.4 以下の範囲とする。モードフィールド径は $5.5\mu\text{m}$ 以上とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて光信号の伝送を行う分散補償光ファイバにおいて、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ が、 $-35\text{ps}/\text{nm}/\text{km} \leq \sigma \leq -10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲に設定されていることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項 2】 波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて光信号の伝送を行う分散補償光ファイバにおいて、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ が、 $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km} \leq \sigma \leq -10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲にあり、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散値と分散スロープの比が同じ波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における前記シングルモード光ファイバの分散値と分散スロープの比に対して正負の符号が逆で絶対値がほぼ等しくなるように設定されていることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項 3】 屈折率が最も高いセンタコアの周りを囲んで屈折率が低いサイドコアが配置され、そのサイドコアの周りを囲んで前記センタコアよりも屈折率が低くサイドコアよりは屈折率が高いクラッドが配置されて、屈折率分布をW型のプロファイルと成した請求項 1 又は請求項 2 記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 4】 センタコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta+$ を 1.0% 以上 1.8% 以下の範囲と成し、センタコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta+$ に対するサイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta-$ の比 $R\Delta$ ($R\Delta = \Delta-/\Delta+$) を -0.25 以下と成し、かつ、サイドコアの径 b に対するセンタコアの径 a の比 Ra ($Ra = a/b$) を 0.3 以上 0.4 以下の範囲とした請求項 3 記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 5】 モードフィールド径を $5.5\mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 又は請求項 4 記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 6】 波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバにほぼ同じ長さの分散補償光ファイバが接続されてなる波長多重光伝送路であって、前記分散補償光ファイバは請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 つに記載の分散補償光ファイバによって構成されていることを特徴とする波長多重光伝送路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、 $1.3\mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて、該シングルモード光ファイバを通して伝送されて来る $1.55\mu\text{m}$ の波長帯の光信号の分散を補償する機能と伝送用光ファイバとしての機能を併せ持つ分散補償光ファイバおよびその光ファイバを用いた波長多重光伝送路に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信の伝送網として、波長 $1.3\mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバが世界

中に敷設されている。最近においては、情報社会の発展により、通信情報量が飛躍的に増大する傾向にあり、このような情報の増大に伴い、波長多重伝送(WDM伝送)が通信分野に広く受け入れられ、今や波長多重伝送の時代を迎えている。波長多重伝送は、光通信の波長が一波長でなく、複数の波長に分割して複数の光信号を伝送する方式であり、大容量高速通信に適した光伝送方式である。

【0003】しかしながら、既設の $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバは、一般的に伝送損失が大きく、 $1.3\mu\text{m}$ の波長帯を用いて波長多重光通信を行う場合には、通常の光増幅器の利得帯域である $1.55\mu\text{m}$ の波長帯と波長域が一致しないため、光増幅器が使用できず、長距離光通信に支障を来すという問題があり、そのため、最近においては、既設の $1.3\mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つ伝送シングルモード光ファイバを用いて、 $1.55\mu\text{m}$ の波長帯での波長多重光通信が行われている。

【0004】しかしながら、 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバを用いて $1.55\mu\text{m}$ の波長帯で光通信を行うと、既設の伝送用シングルモード光ファイバは、この $1.55\mu\text{m}$ の波長帯では、正の分散と正の分散スロープを持つので、伝送用シングルモード光ファイバに光信号が伝搬するにつれ、波長多重の各波長の信号の分散が大きくなり、受信側で信号の分離が困難になり、光通信の品質が低下し、光通信の信頼性が失われるという問題が生じた。

【0005】そこで、最近においては、このような問題を解消すべく、分散補償光ファイバの開発が行われている。この分散補償光ファイバは、負の分散をもっており、分散補償光ファイバを伝送用シングルモード光ファイバの受信側に接続することで、伝送用シングルモード光ファイバを伝搬して来る光信号の正の分散を、分散補償光ファイバの負の分散で減殺して、受信側での光信号の分散をほぼ零分散に近い状態にして受信するものである。このように、伝送用シングルモード光ファイバに分散補償光ファイバを接続することにより、波長多重の各光信号の受信側での分離が可能となり、品質の高い大容量高速通信が期待されるものである。

【0006】この種の分散補償光ファイバはモジュール化されており、できるだけ短い分散補償光ファイバを伝送用シングルモード光ファイバの受信側に接続して分散補償を行うようにしたものが一般的である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、分散補償光ファイバをモジュール化して短いファイバ長でもって分散を補償するためには、モジュール化される分散補償光ファイバは高い負の分散と負の分散スロープを持たせることが必要となる。

【0008】しかしながら、分散補償光ファイバに負の

高い分散と分散スロープを持たせるためには、分散補償光ファイバの屈折率分布を定める各種パラメータの条件が非常に厳しくなり、製造が難しくなる上に、負の高い分散と分散スロープを持たせる屈折率構造にすると必然的に非線形現象が生じやすくなり、光ファイバのモードフィールド径 (MFD) も小さくなる。前記非線形現象が生じると、信号波形の歪みが生じ、波長多重光伝送の高速化、大容量化を行う上で新たな問題となる。

【0009】また、光ファイバのモードフィールド径が小さくなると、光ファイバの曲げによる伝送損失が大きくなるという問題が生じることになる。

【0010】なお、零分散波長を $1.31\mu\text{m}$ から $1.55\mu\text{m}$ にシフトさせた分散シフト光ファイバを用いて光伝送を行う方式も提案されている。この $1.55\mu\text{m}$ の波長に零分散を持つ分散シフト光ファイバを用いて $1.55\mu\text{m}$ の波長によって光信号の伝送を行うことにより、分散のない信号伝送が可能となるが、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号を用いて波長多重光伝送を行うと、波長 $1.55\mu\text{m}$ については分散を生じないが、その近辺の他の波長の信号に対しては分散が生じてしまい、大容量高速波長多重光通信を行う上では適しない光伝送方式となってしまう。また、この種の分散シフト光ファイバは非線形現象が生じやすいという点でも問題がある。

【0011】この点、 $1.31\mu\text{m}$ の波長に零分散を持つシングルモード光ファイバは低非線形性の点では非常に優れており、したがって、光伝送線路として既設の波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバを利用し、この伝送用シングルモード光ファイバに低非線形性を有しモードフィールド径の大きい分散補償光ファイバを接続して $1.55\mu\text{m}$ 帯の波長を用いた波長多重光伝送をほぼ零分散の状態で行うことができれば理想的である。

【0012】本発明者はこの点に着目し、分散補償光ファイバを単にモジュール化した分散補償専用の光ファイバとすることから発想を転換し、光伝送用シングルモード光ファイバに該光伝送用シングルモード光ファイバとほぼ同じ長さの分散補償光ファイバを接続して、分散補償光ファイバを伝送用シングルモード光ファイバを伝搬して来る光信号の分散を補償しながら光信号を長距離伝送するという機能、つまり、分散補償の機能と光伝送の機能を併せ持つ分散補償光ファイバを提供することを本発明の第1の目的とし、さらに、本発明の第2の目的は、光伝送用シングルモード光ファイバと前記分散補償光ファイバを接続して成る波長多重光伝送路を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するために、次のような手段を講じている。すなわち、第1の発明は、波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて光信号の伝送を行う分散

補償光ファイバにおいて、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ が、 $-35\text{ps}/\text{nm}/\text{km} \leq \sigma \leq -10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲に設定されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0014】また、第2の発明は、波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて光信号の伝送を行う分散補償光ファイバにおいて、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ が、 $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km} \leq \sigma \leq -10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲にあり、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散値と分散スロープの比が同じ波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における前記シングルモード光ファイバの分散値と分散スロープの比に対して正負の符号が逆で絶対値がほぼ等しくなるように設定されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0015】さらに第3の発明は、前記第1又は第2の発明の構成を備えたものにおいて、屈折率が最も高いセンタコアの周りを囲んで屈折率が低いサイドコアが配置され、そのサイドコアの周りを囲んで前記センタコアよりも屈折率が低くサイドコアよりは屈折率が高いクラッドが配置されて、屈折率分布をW型のプロファイルと成したことをもって課題を解決する手段としている。

【0016】さらに第4の発明は、前記第3の発明の構成を備えたものにおいて、センタコアのクラッドに対する比屈折率差 Δ_+ を 1.0% 以上 1.8% 以下の範囲と成し、センタコアのクラッドに対する比屈折率差 Δ_+ に対するサイドコアのクラッドに対する比屈折率差 Δ_- の比 $R\Delta$ ($R\Delta = \Delta_-/\Delta_+$) を -0.25 以下と成し、かつ、サイドコアの径 b に対するセンタコアの径 a の比 Ra ($Ra = a/b$) を 0.3 以上 0.4 以下の範囲としたことをもって課題を解決する手段としている。

【0017】さらに第5の発明は、前記第1又は第2又は第3又は第4の発明の構成を備えたものにおいて、モードフィールド径を $5.5\mu\text{m}$ 以上とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0018】さらに第6の発明は、波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバにほぼ同じ長さの分散補償光ファイバが接続されてなる波長多重光伝送路であって、前記分散補償光ファイバは前記1乃至5のいずれか1つの発明の分散補償光ファイバによって構成されていることをもって課題を解決する手段としている。

【0019】本発明では、波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つ (より具体的には波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ) シングルモード光ファイバに本発明の分散補償光ファイバがほぼ同じ長さだけ接続されて波長多重光伝送路が形成される。この波長多重光伝送路を用いて波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光信号を用いて波長多重光伝送を行うと、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の各波長はシングルモード光ファイバを伝送するにつれ、正の分散が増加して行く。

【0020】波長多重の各波長の光信号がシングルモード光ファイバから分散補償光ファイバに切り替わって伝送されるが、分散補償光ファイバはその分散値 σ が、-

20ps/nm/km $\leq\sigma\leq-10$ ps/nm/kmの範囲の比較的低い負の分散値を有し、分散補償光ファイバにおける波長1.55 μ m帯での分散値と分散スロープの比が同じ波長1.55 μ m帯におけるシングルモード光ファイバの分散値と分散スロープの比に正負の符号が逆で絶対値がほぼ等しくなるように設定されていることで、シングルモード光ファイバを伝搬して来ることによって増加した分散は分散補償光ファイバを伝搬して行くにつれ次第に減殺される方向に補償されて行き、分散補償光ファイバの終端側で、波長多重の各波長の分散はほぼ零に補償されて受信されることになる。

【0021】本発明の分散補償光ファイバは前記の如くその分散値 σ が -20 ps/nm/km $\leq\sigma\leq-10$ ps/nm/kmという如く比較的低い負の分散値としているために、屈折率分布を規制する条件が従来例のモジュール化される負の高分散スロープを持つ分散補償光ファイバのようには厳格でなく、その条件が緩やかとなるために、低非線形性の光ファイバ構造となり、これにより、波長多重光伝送の各波長の波形の歪みの発生を抑制でき、モードフィールド径も5.5 μ m以上（より好ましくは6 μ m以上）と大きくできることで、光ファイバの曲げによる伝送損失の増大が防止され、伝送損失の小さい高品質の大容量高速波長多重光伝送が可能となる。

【0022】また、波長1.31 μ m帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて光信号の伝送を行う分散補償光ファイバの波長1.55 μ m帯での分散値 σ を、 -35 ps/nm/km $\leq\sigma\leq-10$ ps/nm/kmの範囲に設定した発明にあっては、シングルモード光ファイバに該シングルモード光ファイバとほぼ同じ逆符号の分散となるファイバ長の分散補償光ファイバを接続することにより、分散補償光ファイバの終端側で、シングルモード光ファイバを伝搬することにより発生する波長1.55 μ m帯における特定波長の信号の分散を零分散に減殺補償することが可能となるものである。

【0023】さらに、前記分散補償光ファイバの屈折率分布をW型のプロファイルと成すことで、分散補償光ファイバの前記設定される条件を備えた屈折率構造の光ファイバを容易に製造することが可能となり、また、センタコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta+$ を1.0%以上1.8%以下の範囲と成し、センタコアのクラッドに対す

$$\Delta+ = \{ (n_c^2 - n_L^2) / 2 n_c^2 \} \times 100 \dots \dots (1)$$

【0029】また、サイドコア2のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta-$ は次の(2)式により定義される。 ※

$$\Delta- = \{ (n_s^2 - n_L^2) / 2 n_s^2 \} \times 100 \dots \dots (2)$$

【0031】本実施形態例においては、分散補償光ファイバは従来例のような分散補償専用のモジュール化した光ファイバとして機能させることから発想を転換し、シングルモード光ファイバを伝搬することにより発生する分散を補償する機能と、光信号を伝搬する伝送路としての機能とを併せ持つ構成とすることにより、分散補償光

*る比屈折率差 $\Delta+$ に対するサイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta-$ の比 $R\Delta$ ($R\Delta = \Delta- / \Delta+$) を-0.25以下と成し、かつ、サイドコアの径 b に対するセンタコアの径 a の比 Ra ($Ra = a / b$) を0.3以上0.4以下の範囲としたことで、シングルモード光ファイバを伝搬することにより生じる分散の補償率を理想的に近い1.0の近辺に高めることが可能となるものである。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態例を図面にに基づき説明する。図1には本発明に係る分散補償光ファイバの一実施形態例の屈折率分布のプロファイルが示されている。分散補償光ファイバの屈折率分布のプロファイルとしては、図4の(a)に示すようなマッチド型のものや、同図の(b)に示すようなセグメントコア型のものや、あるいは同図の(c)に示すような2重コア型等の様々な形態の屈折率プロファイルのものとすることが可能であるが、本実施形態例では、構造が単純で、屈折率構造の設計、制御のしやすく伝送損失も小さく、かつ、負の分散および負の分散スロープの実現性に富む図1に示すようなW型の屈折率プロファイルを採用している。

【0025】このW型プロファイルの分散補償光ファイバの屈折率構造は、最も屈折率の高いセンタコア1の周りを囲んで該センタコア1よりも屈折率の低いサイドコア2が配置され、さらにそのサイドコア2の周りを囲んで、サイドコア2よりも屈折率が高く前記センタコア1よりも屈折率の低いクラッド3が配されて、屈折率分布がW型を呈している。

【0026】クラッド3は純シリカ(SiO_2)の層により形成されており、サイドコア2は純シリカ(SiO_2)に屈折率を低くするフッ素(F)をドープすることにより形成されており、また、センタコア1は純シリカに屈折率を高めるゲルマニウム(Ge)をドープすることにより形成されている。

【0027】図1に示す屈折率構造において、センタコア1の屈折率を n_c 、サイドコア2の屈折率を n_s 、クラッド3の屈折率を n_L としたとき、センタコア1のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta+$ は次の(1)式により定義している。

【0028】

※【0030】

ファイバの分散の値を -20 ps/nm/km以上であって、かつ、 -10 ps/nm/km以下に設定している。このように、本実施形態例の分散補償光ファイバの分散の値を従来例のモジュール化された分散補償光ファイバの分散値 -55 ps/nm/km(例えば特開平6-11620号公報の分散補償光ファイバモジュール)に比べ負の分散値を低い値

にしたことで、W型屈折率分布のプロファイル設計の規制が緩やかとなり、低非線形性伝送路が形成できることとなった。なお、波長1.31 μm に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバは波長1.55 μm で約17ps/nm/kmの分散スロープを持ち、波長1.55 μm 帯で約0.06ps/nm²/kmの分散スロープを持つ。

【0032】また、本実施形態例では、シングルモード光ファイバを伝搬して来る波長1.55 μm 帯での波長多重の各波長の光信号の分散を一樣にほぼ零分散に減殺補償するために、波長1.55 μm 帯での分散補償光ファイバの分散値と分散スロープの比が、同じ波長1.55 μm 帯における前記シングルモード光ファイバの分散値と分散スロープの比に対して正負の符号が逆で絶対値がほぼ等しくなるように設定されている。このように分散値と分散スロープの比を設定することで、分散補償光ファイバを1.*

$$\text{補償率} = \{S(\text{DCF}) / S(\text{SMF})\} / \{D(\text{DCF}) / D(\text{SMF})\}$$

..... (3)

【0035】前記(3)の式中、S(DCF)は分散補償光ファイバの波長1.55 μm 帯における分散スロープの平均値であり、S(SMF)は波長1.31 μm に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバの波長1.55 μm 帯での分散スロープの平均値であり、D(DCF)は分散補償光ファイバの波長1.55 μm における分散値であり、D(SMF)は波長1.31 μm に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバの波長1.55 μm における分散値である。

【0036】W型屈折率プロファイルを持つ分散補償光ファイバにおいては、センタコア1のクラッド3に対す※

*31 μm に零分散を持つ既設のシングルモード光ファイバにほぼ同じ長さをもって接続することにより、シングルモード光ファイバを伝搬して来る波長1.55 μm 帯での各波長の波長多重光信号の分散を分散補償光ファイバの終端側で一樣にほぼ零分散の状態に減殺補償することができることとなる。

【0033】分散補償光ファイバに求められる重要な要求点は、シングルモード光ファイバと接続したときに、波長1.55 μm 帯の広い範囲で低分散が実現されることである。そこで、本発明者は、W型屈折率分布のプロファイルの最適化を図り、分散の補償率を高くする検討を行った。なお、この分散の補償率は、次の(3)式により定義される。

【0034】

※る比屈折率差 $\Delta+$ に対するサイドコア2のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta-$ の比 $R\Delta$ ($R\Delta = \Delta- / \Delta+$)を-0.25以下にすることにより、波長1.55 μm 帯で低分散が補償されるような分散スロープが得られることを検証されており、この点に着目し、本実施形態例の分散補償光ファイバの $R\Delta$ を-0.25以下と成している。

【0037】表1は、その一例として、 $R\Delta$ を-0.285にしたときの補償率をW型プロファイルのパラメータを異にした比較状態で示している。

【0038】

【表1】

$\Delta+$ (%)	$\Delta-$ (%)	コア径 (μm)	分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm ² /km)	補償率 (%)
2.8	-0.798	2.23	-219	-0.78	94
2.4	-0.684	2.44	-178	-0.73	108
2.0	-0.570	2.86	-99	-0.37	99
1.6	-0.456	3.19	-72	-0.29	106
1.2	-0.342	3.69	-46	-0.16	92
0.8	-0.228	4.02	-18	-0.07	105

【0039】この表1中の分散は、波長1.55 μm での実測値であり、分散スロープは波長1.53 μm ~1.57 μm の平均値で表してある。なお、この表1に示すデータは、

サイドコア2の直径bに対するセンタコア1の直径aの比 Ra ($Ra = a/b$)の値を0.4に固定したときのデータである。

【0040】前記表1から分かるように、 $R\Delta$ を -0.285 にすることにより、92%以上108%以下の高い分散の補償率が得られていることが分かる。

【0041】次に、本発明者は、 $R\Delta$ を -0.25 以下にする条件の下で、分散の補償率を十分に満足し得る Ra の最適範囲をシミュレーションにより求めた、そのシミュレーションの結果を図2に示す。この図2に示す実線は理論曲線であり、プロット点はシミュレーションにより求められたデータである。

【0042】この図2に示すシミュレーション結果から、 Ra を $0.3 \sim 0.4$ の範囲内とすることにより、十分に満足できる高い補償率が得られることを実証できた。このシミュレーション結果に基づき、本実施形態例の分散補償光ファイバの Ra の値は 0.3 以上 0.4 以下の値に設定した。

【0043】さらに、 Ra の値を 0.3 以上 0.4 以下に設定し、 $R\Delta$ を -0.25 以下に設定した場合に、シミュレーションの結果によれば、分散値を $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上で $-10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の値を実現するためには、センタコア1のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta+$ の値を最大でも 1.8% 以下にしなければならないということが求められた。このように $\Delta+$ の値を 1.8% 以下とすることで、分散補償光ファイバのモードフィールド径(MFD)の広がり効果を得ることができ、本実施形態例ではモードフィールド径を $5.5\mu\text{m}$ 以上、より具体的には $6\mu\text{m}$ 以上とすることができた。このモードフィールド $5.5\mu\text{m}$ 以上(より具体的には $6\mu\text{m}$ 以上)の値は、前記特開平6-11620号公報のモジュール化された分散補償光ファイバのモードフィールド径の $4.4\mu\text{m}$ の値と比較すれば明らかな如く、充分大きなモードフィールド径を得ることが可能となった。なお、 $\Delta+$ の値を小さくし過ぎると、分散補償光ファイバの製造を行う際に、サイドコア2にドーブされるフッ素(F)の層が不安定になり、図1に示すようなきちんとしたW型プロファイルの構造が達成されなくなるので、これを防止するためには、 $\Delta+$ の値を 1.0% 以上にすることが必要であり、本実施形態例では、 $\Delta+$ の値を 1.0% 以上 1.8% 以下に設定している。

【0044】すなわち、本実施形態例の分散補償光ファイバは、W型の屈折率分布のプロファイルを持ち、センタコア1のクラッド3に対する比屈折率差 $\Delta+$ を $1.0\%*$

*以上 1.8% 以下とし、 $R\Delta$ ($R\Delta = \Delta - / \Delta +$)を -0.25 以下とし、さらに Ra を 0.3 以上 0.4 以下になるように設定して、モードフィールド径を $5.5\mu\text{m}$ 以上(より具体的には $6\mu\text{m}$ 以上)で、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散の値を $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $-10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下とした分散補償光ファイバを得た。

【0045】従来例のモジュール化した分散補償光ファイバでは、短いファイバ長でシングルモード光ファイバを伝搬して来る分散を補償するために、負の高分散値、高分散スロープを追求しているので、W型プロファイルを持つ分散補償光ファイバのセンタコアの比屈折率差 $\Delta+$ は 2% 近い大きな値となっており、しかも、コアの径を小さく(狭く)せざるを得ないという事情があり、そのために、従来のモジュール化された分散補償光ファイバのモードフィールド径は大きくしてもせいぜい $5\mu\text{m}$ 程度となるため、曲げによる伝送損失が大きな値となったが、本実施形態例の分散補償光ファイバは、負の低分散値、低分散スロープとなるので、W型プロファイルを条件づけるパラメータの設計の規制が緩やかになるので、低非線形性が得られてモードフィールド径も大きくでき、分散補償光ファイバの曲げによる伝送損失の増大を抑制することが可能となった。

【0046】本発明者の実験によれば、直径 20mm の曲げによる伝送損失を $5\text{dB}/\text{m}$ 以下に保ちながら、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、モードフィールド径が $5.5\mu\text{m}$ 以上という条件を充分に達成できることが確認できた。この値は、低非線形性を有し、光伝送線路としての曲げにも充分対応し得る波長多重光伝送に最適な伝送用の光ファイバとしての条件を充分満たしている。

【0047】図5は本実施形態例における波長多重光伝送路を示すもので、波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバSMFに該シングルモード光ファイバSMFとほぼ同じ長さをもって本実施形態例の分散補償光ファイバDCFが接続されて光伝送路が構成される。なお、図5中、4は波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯に利得領域を持つ光増幅器であり、5は受信局である。

【0048】表2は波長多重光伝送路の適否関係を各種伝送路に対して検討した結果を示すものである。

【0049】

【表2】

ファイバ	SMF	DSF	SMF + MDCF	SMF + WDFCP	DFP	SMF + 線路用 DFCP
WDM 伝送	×	△	△	○	◎	◎◎◎

【0050】この表2中の×印は波長多重光伝送路として不適であることを示しており、△印は実用性はあるが

余り好ましくない線路であることを意味しており、○印はややよい状態の線路であることを意味し、◎印は波長多

重光伝送路に適している線路であることを意味しており、◎印が3個並んだ本実施形態例の光伝送路は波長多重光伝送を行う上で最適の線路であることを示している。

【0051】表2の光ファイバSMFは波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ既設のシングルモード光ファイバであり、DSFは波長 $1.55\mu\text{m}$ に零分散を持つ分散シフト光ファイバであり、SMF+MDCFの光ファイバは、波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つシングルモード光ファイバにモジュール化された屈折率分布がマッチド型をした分散補償光ファイバを接続した線路を意味しており、SMF+WDFCFの光ファイバは、同じくシングルモード光ファイバに屈折率分布がW型のプロファイルを持つモジュール化された分散補償光ファイバを接続して成る光線路を意味しており、DFFの光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ に零分散を持ち、かつ、その波長帯の分散スロープが零の分散フラットファイバを意味しており、SMF+線路用DFCFの光ファイバは本実施形態例における光伝送路であり、波長 $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つシングルモード光ファイバに前記実施形態例の分散補償光ファイバを該

シングルモード光ファイバとほぼ同じ長さをもって接続した線路を意味している。

【0052】表2の検討結果によれば、分散フラットファイバDFFも波長多重光伝送に適した光伝送路と言えるが、この種の分散フラットファイバは、屈折率分布の各条件の規制が厳しく、その条件が僅かにずれると分散や分散スロープ等の特性が変化してしまうことから、製造が困難であり、汎用性を持った安定した波長多重光伝送路とする上では必ずしも望ましい線路ではなく、本実施形態例の光伝送路が最適な汎用性のある光線路であることが実証され、次世代の最も適した波長多重光伝送路として期待されるものである。

【0053】

【実施例】次に本発明の具体的な実施例を説明する。ま

ず実施例1として、図1に示すW型の屈折率分布を持ち、 $\Delta+$ を 1.44% 、 $R\Delta$ を -0.285 、 Ra を 0.37 とした分散補償光ファイバを試作した。その実施例1の分散補償光ファイバの波長分散特性の結果を図3に示す。

【0054】同様に、W型の屈折率分布を持ち、 $\Delta+$ を 1.11% 、 $R\Delta$ を -0.375 、 Ra を 0.33 とした分散補償光ファイバを実施例2として試作した。その実施例2の分散補償光ファイバの波長分散特性の結果を同様に図3に示す。なお、この図3には波長 $1.31\mu\text{m}$ で零分散を持つシングルモード光ファイバの波長分散特性(SMFデータ)に -1 を掛けたデータが比較例として示してある。

【0055】この図3に示す波長分散特性から明らかな如く、実施例1と実施例2のデータは共にシングルモード光ファイバの波長分散特性に -1 を掛けたデータに近づいており、このことは、シングルモード光ファイバに実施例1や実施例2で試作した分散補償光ファイバをシングルモード光ファイバとほぼ同じ長さをもって接続することにより、シングルモード光ファイバを伝搬することによって生じる波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の各波長の分散を分散補償光ファイバの終端側で効果的にほぼ零分散に減殺補償できることを示している。

【0056】次に、表3に本発明の他の実施例の分散補償光ファイバの特性結果を従来例の分散補償光ファイバ(モジュール化されたものとモジュール化されていないものを含む)の特性との比較状態で示す。この表3でWは屈折率分布がW型のプロファイルであることを示しており、Mは屈折率分布がマッチド型であることを示し、PMDは偏波分散を示している。また、表3中の分散値は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の値であり、曲げロス、直径 20mm の曲げによる伝送損失を示しており、MFDはモードフィールド径を示している。

【0057】

【表3】

No.		型	分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm ² /km)	損失 (dB/km) 波長1.55 μ m	曲 げ $\phi=20$ ロス (dB/m)	M F D (μ m)	P M D (ps/ \sqrt km)	判定
1	比較例	W	- 5	-0.01	0.22	7	5.5	0.1	Δ
2	実施例	W	- 10	-0.03	0.22	7	5.5	0.1	\bigcirc
3	実施例	W	- 15	-0.06	0.23	3.1	5.8	0.1	\bigcirc
4	実施例	W	- 30	-0.1	0.24	5.0	6.3	0.15	\bigcirc
					0.24	2.5	5.8		
5	比較例	W	- 40	-0.13	0.25	9.5	6.5	0.2	Δ
					0.25	2.3	5.4		
6	比較例	W	- 50	-0.15	0.35	15	6.7	0.3	\times
					0.35	2	5.3		
7	モジュール	W	-106	-0.3643	0.6	8.183	5.06	0.5	
8	モジュール	M	- 80	0.0213	0.6	5.269	4.09	0.5	

【0058】この表3のNo.2、No.3の実施例の分散補償光ファイバは分散が-10 ps/nm/km、-15 ps/nm/kmと負の低い値を示しており、分散スロープも-0.03 ps/nm²/km、-0.06ps/nm²/kmと負の小さい値を示している。モジュール化された従来例の分散補償光ファイバに比べ負の分散と負の分散スロープの値が充分小さい値になっていることが分かる。また、曲げロスも、モードフィールド径が5.5 μ m以上と従来例のモジュール化された分散補償光ファイバに比べ格段に大きな値となっているので、その曲げロスも小さな値となっており、曲げによる伝送損失が小さく、かつ、高速大容量の波長多重光伝送に最も適した光線路であることが実証されている。

【0059】また、表3のNo.4の実施例のものは、分散値を-30ps/nm/kmとしており、このNo.4の例もモードフィールド径が5.5 μ m以上と大きく、かつ、曲げロスも小さく、良好な特性が得られている。

【0060】表3には、偏波分散PMDの特性比較が示されているが、一般に波長合分波器WDMや光サーキュレータを用いて波長多重や、TDM（時分割）多重を行う場合、従来のMCVDで作られたシングルモード光ファイバSMFに分散補償光ファイバDCFをつなぐとき、シングルモード光ファイバSMFの偏波分散PMDが大きいので、分散補償光ファイバDCFに大きな偏波分散PMDの制限が付け加えられる。すなわち厳しいものでは偏波分散PMDが0.15以下の仕様が要求される。表3に示される本発明各実施例の偏波分散PMDは、0.15以下であり、これらの仕様を満足するものである。

【0061】なお、表3中のNo.1、No.5、No.6の比較例は、線路型（非モジュール型）の分散補償光ファイバを示すが、No.1のものは、分散値と分散スロープの値がともに小さすぎ、分散補償の機能が不十分である。また、No.5、No.6のものは曲げロスの条件とモードフィールドの条件をとともに満たしてはいない上に、偏波分散が大きく、本発明の各実施例の特性は得られていない。本発明に係る実施形態例および各実施例の分散補償光ファイバは低損失伝送路なので、布設ケーブル用としての利用に適したものである。

【0062】図6は、上述した本発明に係る分散補償光ファイバDCFと1.31 μ mの波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバSMF1、SMF2とを直列に接続してなる波長多重光伝送路の実施例を示すもので、送信器と受信器が接続される波長合分波器WDM間にシングルモード光ファイバSMF1と、分散補償光ファイバDCFと、シングルモード光ファイバSMF2の各線路をこの順序に接続し、これら線路の全体としての分散（総分散）を零（ほぼ零を含む）に調整するか、あるいは更にこれら線路全体の分散スロープを零（ほぼ零を含む）になるように調整したものである。

【0063】本発明の布設用ケーブルとしての分散補償光ファイバDCFは、曲げ損失が少ない方が布設ケーブル長を長くでき、また、モードフィールド径の大きい方が上記のように非線形効果（非線形の影響）が小さいので望ましい。一般には、シングルモード光ファイバSMF1、SMF2のモードフィールド径が分散補償光ファイバDCFのモードフィールド径よりも大きい。

【0064】したがって、図6に示す実施例のような順序で接続することにより、シングルモード光ファイバのSMF1あるいはSMF2から入力信号を入力すると、これらシングルモード光ファイバ内で、ある程度入力信号レベルが減衰した後分散補償光ファイバDCFに入力され、しかも本発明の分散補償光ファイバDCFのモードフィールド径が大きいので、分散補償光ファイバDCF内で発生する非線形効果を小さくできる。すなわち、この実施例の波長多重光伝送路は、双方向通信に適したものとなっている。

【0065】なお、シングルモード光ファイバSMFを通さずに、最初から分散補償光ファイバDCF入力信号を入力すると、パワーの大きな光信号が分散補償光ファイバDCFに入力することになるので、分散補償光ファイバDCFで非線形効果が生じ、入力パワーを大きくできない。この点、本実施例の場合は、双方向の場合であっても入力信号は最初にシングルモード光ファイバSMFを通過し、そこである程度信号パワーが減衰した後、通常の伝送用光ファイバと同程度の減衰量を持つ分散補償光ファイバDCFに到達するので、入力パワーを大きくでき、通信距離を長くできるという効果が得られる。

【0066】

【発明の効果】本発明は、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値が $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より大で $-10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より小さい範囲にあり、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散値と分散スロープの比が同じ波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯におけるシングルモード光ファイバの分散値と分散スロープの比に対して正負の符号が逆で絶対値がほぼ等しくなるように設定されているので、シングルモード光ファイバに該シングルモード光ファイバとほぼ同じ長さの本発明の分散補償光ファイバを接続することにより、分散補償光ファイバの終端側で、シングルモード光ファイバを伝搬することにより発生する波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での波長多重光伝送の各波長の信号の分散をほぼ一様に零分散に減殺補償することが可能となる。

【0067】また、波長 $1.31\mu\text{m}$ 帯に零分散を持つシングルモード光ファイバに接続されて光信号の伝送を行う分散補償光ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ を、 $-35\text{ps}/\text{nm}/\text{km} \leq \sigma \leq -10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲に設定した発明にあっては、分散補償光ファイバの終端側で、シングルモード光ファイバを伝搬することにより発生する波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での特定波長の信号の分散を零（ほぼ零を含む）分散に減殺補償することが可能となる。

【0068】さらに、本発明の分散補償光ファイバは従来例のモジュール化された短い光ファイバではなく、シングルモード光ファイバの分散を補償するばかりでなく光伝送用の光ケーブルとして機能するものであるから、前記の如く波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値は $-35\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ あるいは $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より大で $-10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より小という如く負の比較的小さい値を持つので、屈折率分布を規制する条件を緩やかにでき、これに伴い、モードフィ

ールド径を大きくできるので低非線型性の性質を備えたものとなるので、波長多重光伝送波形の歪みを抑制することができる。このように、本発明の分散補償光ファイバは低損失伝送路なので、布設ケーブル用としても適したものとなる。

【0069】特に、屈折率分布をW型のプロファイルとした構成にあっては、プロファイル形状が単純となるため設計が容易で、伝送損失も小さく、また、負の分散および負の分散スロープを容易に実現できる性質を有するので、屈折率分布の条件の規制がより緩やかとなり、製造も容易化され、本発明の優れた性質を有する分散補償光ファイバおよびその分散補償光ファイバを用いた波長多重光伝送路を安価に提供することが可能となる。

【0070】さらに、W型の屈折率プロファイルを持ち、センタコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta+$ を 1.8% 以下としたことで、分散補償光ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値を容易に $-35\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ あるいは $-20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $-10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下に設定することができる上に、前記比屈折率差 $\Delta+$ を 1.0% 以上としたことで、サイドコアにドーブされるフッ素(F)の層の安定化を図ることが可能となる。また、 $\Delta+$ の値を最大でも 1.8% 以下に抑えることで、分散補償光ファイバのモードフィールド径の広がり効果を得ることができ、本発明の分散補償光ファイバによれば、モードフィールド径を $5.5\mu\text{m}$ 以上（特に好ましくは $6\mu\text{m}$ 以上）とすることが可能であり、この値は、従来のモジュール化された分散補償光ファイバのモードフィールド径に比べ充分大きな値となり、分散補償光ファイバの曲げによる伝送損失の増大を効果的に防止することができる。

【0071】さらに、センタコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta+$ に対するサイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta-$ の比 $R\Delta$ を -0.25 以下と成し、かつ、サイドコアの径 b に対するセンタコアの径 a の比 Ra （ $Ra = a/b$ ）を 0.3 以上 0.4 以下の範囲としたことにより、シングルモード光ファイバを伝搬することにより発生する $1.55\mu\text{m}$ 帯の波長多重光伝送の各波長の信号に対する分散の補償率を十分に高めることが可能となり、したがって、本発明の波長多重光伝送路を用いることにより、曲げによる伝送損失を小さくし、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での低非線型性によって信号歪みのない品質の高い高速大容量の波長多重光通信を可能とし、次世代の波長多重光線路として充分対応できるものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る分散補償光ファイバの一実施形態例の屈折率分布のプロファイルを示す図である。

【図2】本実施形態例における分散補償光ファイバの Ra の値と補償率との関係を示すシミュレーションの図である。

【図3】本発明における実施例1、2の波長分散特性をシングルモード光ファイバの波長分散特性に -1 を掛け

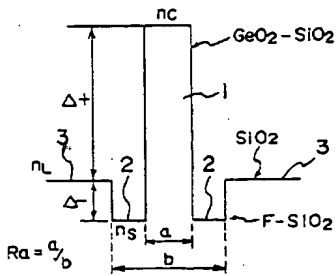
17

たデータと比較状態で示すグラフである。

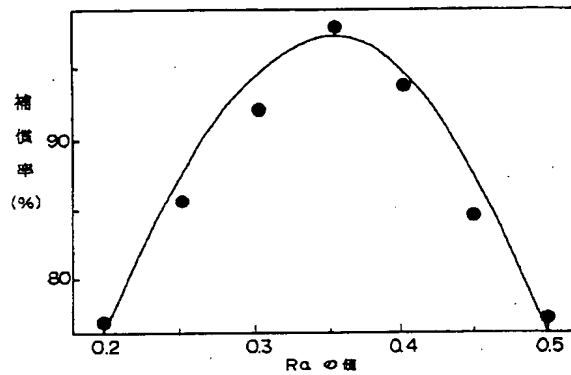
【図4】分散補償光ファイバの他の屈折率分布のプロファイル例を示す説明図である。

【図5】本実施形態例の波長多重光伝送路の説明図である。

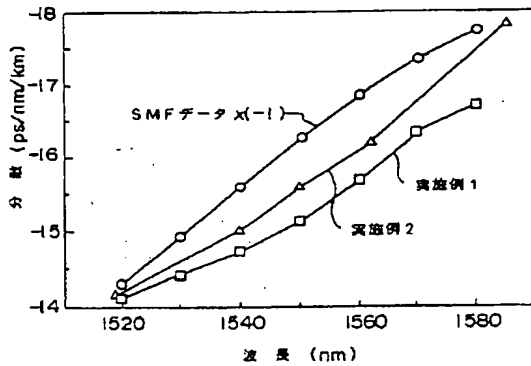
【図1】



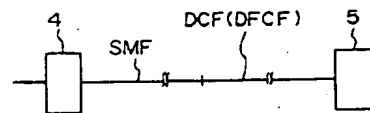
【図2】



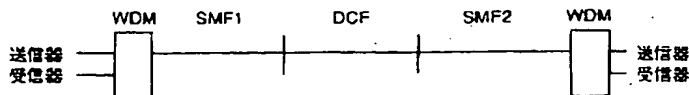
【図3】



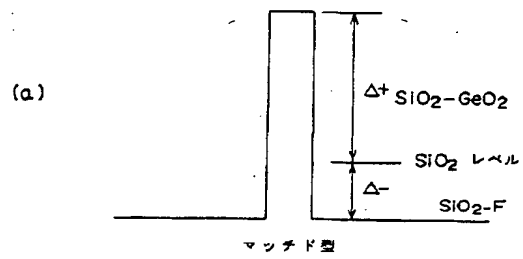
【図5】



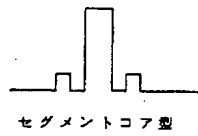
【図6】



【図4】



(b)



(c)

